# Transferts thermiques : flux, résistance et loi de Newton

Fiche méthode

(Physique-chimie Tle spécialité · L'énergie : conversions et transferts · Bilans d'énergie : transferts thermiques)

## La démarche pour un exercice de transferts thermiques

**1. Je définis le système** et son extérieur ; je repère le sens du transfert (du chaud vers le froid) et le régime : stationnaire (températures constantes) ou évolution au cours du temps.

**2. Je convertis** : épaisseurs en m, durées en s, énergies en J (1 kWh $= 3{,}6 \times 10^6$ J), températures en K quand une température absolue apparaît seule ($\sigma T^4$).

**3. Je choisis la relation** : $\Phi = \Delta T / R_{th}$ et $R_{th} = e/(\lambda S)$ pour une paroi ; puissance absorbée = puissance émise pour une planète ; loi de Newton et premier principe pour une évolution.

**4. Je résous littéralement**, puis je fais l'application numérique avec le bon nombre de chiffres significatifs.

**5. Je contrôle** : unité (W ou J ?), sens physique (la température tend vers celle de l'extérieur), ordre de grandeur.

**Le réflexe** — un écart de température crée un flux ; la résistance le limite ; le flux, par le premier principe, fait varier la température jusqu'à l'équilibre.

## Cas 1 · Reconnaître un mode de transfert

**Réflexe** — contact sans mouvement de matière : conduction ; fluide qui circule : convection ; ondes, même dans le vide : rayonnement.

**Exemple.** Le circuit de refroidissement d'un moteur de voiture.

Le liquide pompé emporte l'énergie du moteur jusqu'au radiateur (**convection**) ; elle traverse les fines parois métalliques du radiateur (**conduction**) ; l'air qui le traverse l'emporte à son tour (**convection**).

**Attention** — le froid ne « rentre » pas : c'est l'énergie qui sort.

## Cas 2 · Flux à travers une paroi

**Réflexe** — $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$ puis $\Phi = \dfrac{\Delta T}{R_{th}}$ ; $Q = \Phi\,\Delta t$.

**Exemple.** Porte en bois : 4,0 cm, $\lambda = 0{,}15$ W·m$^{-1}$·K$^{-1}$, 1,8 m², entre 20 °C et 5 °C.

$$R_{th} = \frac{0{,}040}{0{,}15 \times 1{,}8} \approx 0{,}148 \text{ K·W}^{-1} \text{ ; } \Phi = \frac{15}{0{,}148} \approx \mathbf{101\ W}.$$

**Attention** — W pour un flux, J ou kWh pour une énergie.

## Cas 3 · Parois en série ou en parallèle

**Réflexe** — série : $R = R_1 + R_2 + \dots$ ; parallèle : $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots$

**Exemple.** Cloison de 10 m² : deux panneaux de bois de 1,0 cm ($\lambda = 0{,}15$) encadrant 5,0 cm de laine ($\lambda = 0{,}040$) ; écart de 12 K.

$$R = 2 \times \frac{0{,}010}{0{,}15 \times 10} + \frac{0{,}050}{0{,}040 \times 10} \approx 0{,}138 \text{ K·W}^{-1} \text{ ; } \Phi = \frac{12}{0{,}138} \approx \mathbf{86{,}7\ W}.$$

**Attention** — on n'additionne jamais les conductivités.

## Cas 4 · Température d'équilibre d'un astre

**Réflexe —** $(1-A)\,\mathcal{C}\,\pi R^2 = \sigma\, 4\pi R^2\, T^4$, donc $T = \left(\dfrac{(1-A)\,\mathcal{C}}{4\sigma}\right)^{1/4}$.

**Exemple.** La Lune : $\mathcal{C} = 1\,361$ W·m$^{-2}$, albédo 0,11.

$T = \left(\dfrac{0{,}89 \times 1\,361}{4 \times 5{,}67 \times 10^{-8}}\right)^{1/4} \approx$ **270 K** (température d'équilibre du modèle : la surface réelle, qui tourne lentement, passe à l'équateur d'environ 95 K la nuit à 390 K le jour).

**Attention —** T en kelvins ; part absorbée $1 - A$ ; facteur 4.

## Cas 5 · Loi de Newton et constante de temps

**Réflexe —** $mc\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = -hS\,(T - T_{ext})$ ; $\tau = \dfrac{mc}{hS}$ ; $T(t) = T_{ext} + (T_0 - T_{ext})\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

**Exemple.** Boîtier de capteur : 0,25 kg, $c = 840$ J·kg$^{-1}$·K$^{-1}$, $S = 3{,}0 \times 10^{-2}$ m², $h = 20$ W·m$^{-2}$·K$^{-1}$ ; de 75 °C dans l'air à 18 °C.

$\tau = \dfrac{0{,}25 \times 840}{20 \times 3{,}0 \times 10^{-2}} =$ **350 s** ; $T(\tau) = 18 + 57\,\mathrm{e}^{-1} \approx$ **39 °C**.

**Attention —** c'est l'écart qui décroît exponentiellement, pas $T$.

## Cas 6 · Exploiter une évolution de température

**Réflexe —** $t = \tau\,\ln\left(\dfrac{T_0 - T_{ext}}{T - T_{ext}}\right)$ ; avec un chauffage $P$ : $T_{\lim} = T_{ext} + \dfrac{P}{hS}$.

**Exemple.** Une plaque de cuisson éteinte passe de 180 °C à 100 °C en 15 min, dans une cuisine à 20 °C.

L'écart passe de 160 K à 80 K : il est divisé par 2, donc $\tau = \dfrac{15}{\ln 2} \approx$ **21,6 min**. Pour 40 °C (écart de 20 K, encore deux divisions par 2) : **45 min** en tout.

**Attention —** la durée n'est pas proportionnelle à la baisse de température.

## Les pièges

- Répondre en watts à « quelle énergie ? », ou oublier de convertir des heures en secondes dans $Q = \Phi\,\Delta t$.
- Laisser une épaisseur en cm ou en mm dans $R_{th} = e/(\lambda S)$.
- Additionner les résistances de parois côte à côte (il faut additionner les flux).
- Mettre des degrés Celsius dans $\sigma T^4$, ou oublier le facteur 4 entre le disque éclairé et la sphère qui rayonne.
- Écrire $T(t) = T_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$, ou calculer le logarithme avec des températures au lieu des écarts.

*Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).*